

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 15 (1924)
Heft: 8

Artikel: Ueber die Bestimmung des Aequivalentes der elektrisch erzeugten Wärme im Vergleich zu der durch Kohle erzeugten Wärme
Autor: Rutgers, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061838>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

42° C gegenüber der Kühlluft erwärmen. Die Erwärmung des Nutenkupfers gegenüber den Zacken ergab im vorliegenden Falle 28° C, so dass die maximale Kupfererwärmung in der Mitte des Nutenkupfers 70° C erreicht. Da die ganze Spulenisolation innerhalb der Nut nur aus Mikanit besteht, ist diese Erwärmung ohne weiteres noch zulässig und entspricht auch den Vertragsbestimmungen, welche die Erwärmung nach den Normen der British Eng. Standards Association festsetzte. Von den bei Vollast 12 500 kW bei $\cos \varphi = 0,8$ auftretenden totalen Verlusten von 650 kW kommen für die Lufterwärmung nicht in Betracht 8 kW für Verluste im Erreger und 60 kW für Lagerreibungsverluste, so dass noch 582 kW übrig bleiben, welche durch die Kühlluft abgeführt werden müssen. Daraus resultiert bei 19 m³/sec Kühlluft eine Erwärmung derselben um 27° C, was noch ein recht mässiger Wert ist.

Die drei Generatoren für die „City of London Electric Ligthning Co.“ sind also trotz der für ihre Entstehungszeit ausserordentlich hohen Leistung für solche Tourenzahlen in allen ihren Verhältnissen als durchaus harmonische Maschinen zu bezeichnen. Seit dieser Zeit sind dann allerdings Leistungen von 3000tourigen Turbogruppen von 10–12 000 kW als etwas durchaus Normales anzusehen, und schon trifft man Leistungen an von 20–25 000 kW bei der gleichen Tourenzahl, und selbst solche über 30 000 kW scheinen durchaus im Bereich des Möglichen zu liegen. Die Entwicklung steht also auch hier nicht still, trotzdem man zeitweilig an der Grenze des Möglichen angelangt zu sein glaubte.

Ueber die Bestimmung des Aequivalentes der elektrisch erzeugten Wärme im Vergleich zu der durch Kohle erzeugten Wärme.

Vortrag des Herrn Ing. F. Rutgers, Oerlikon, an der Generalversammlung
des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, am 21. Juni 1924 in Sitten.

Der Vortragende weist auf die vielen Schwierigkeiten in der Bestimmung des Aequivalentes der durch Elektrizität bezw. durch Brennstoffe erzeugten Wärme hin und zeigt an einer grossen Anzahl von Beispielen, wie solche Aequivalenzzahlen erhalten werden können. Aus diesen Beispielen ist ersichtlich, innert welch weiten Grenzen die Aequivalenzzahlen variieren können.

L'auteur montre les difficultés que l'on rencontre si on veut comparer la valeur de l'énergie électrique appliquée au chauffage à la valeur des combustibles. Il donne un grand nombre d'exemples pour démontrer que la valeur relative du kWh varie entre des limites très éloignées.

I. Einleitung.

An der völlig unparteiischen Bestimmung des Aequivalentes zwischen Kohle und elektrischer Wärme sind alle Beteiligten: Stromlieferant, Stromkonsument und Lieferant der Wärmeanlage, in gleichem Masse interessiert, denn eine gedeihliche Entwicklung der elektrischen Wärme-Wirtschaft ist nur durch gerechten Ausgleich aller Interessen möglich, und durch sorgfältige Auswahl der zu elektrifizierenden Wärmeanlagen im Sinne grösster Wirtschaftlichkeit.

Das für die Wirtschaftlichkeit massgebende Betriebskosten-Aequivalent zwischen elektrischer Wärme und Kohle ist für verschiedene Wärmeanwendungen sehr stark verschieden, und kann Werte etwa zwischen 1 und 7 annehmen. Es lassen sich *keine allgemein gültigen Angaben* machen darüber, wieviele kWh erforderlich sind, um 1 kg Kohle zu ersetzen. Eine grosse Rolle spielt der *Wirkungsgrad* der Gesamtanlage von der Wärmequelle an (Kohle oder Elektrizität) bis zum Wärmeverbrauchsorht, und ausserdem die *Benutzungsdauer*.

Ein mit Kohlen gefeuerter Zimmerofen hat manchmal nur etwa 10 % Wirkungsgrad. Wird eine kleine Dampfmenge nur einige Stunden pro Tag benötigt, so ist der Wirkungsgrad des Dampfkessels infolge der langen Betriebspausen vielleicht

nur 30%. Ist dieser Dampfkessel auch noch viel zu gross für die beispielsweise im Sommer verlangte Dampfmenge, so wird der Wirkungsgrad vielleicht noch um 10 bis 15 % schlechter. Ein während 24 Stunden gleichmässig und voll belasteter grosser Dampfkessel arbeitet hingegen mit ca. 75 % Wirkungsgrad oder mehr.

Die verschiedenen Wärmeanwendungen, wie
 direkte Raumheizung,
 Warmluftanlagen,
 eingebaute Heizkörper in Maschinen,
 elektrisch geheizte Walzen,
 Flüssigkeitserwärmung,
 elektrische Dampfkessel, usw.

weisen stark verschiedene Verhältnisse auf.

Bevor das Aequivalent in einem bestimmten Falle festgestellt wird, ist stets zu prüfen, *ob nicht eine technisch günstigere Lösung überhaupt durch die elektrisch erzeugte Wärme erreicht werden kann.*

Oft wird die direkte elektrische Heizung die Dampferzeugung überhaupt überflüssig machen und dadurch grosse Verluste vermeiden. Oder es wird ein kleiner elektrischer Dampfkessel unmittelbar beim Verbrauchsapparat grosse Rohrleitungsverluste einsparen. Der schematische Ersatz der Kohlenfeuerung durch elektrische Heizung, ohne Ausnützung aller Möglichkeiten, die die elektrisch erzeugte Wärme bietet, bringt oft nicht die günstigste Lösung.

Von grossem Einfluss ist auch die *Benutzungsdauer* der Anlage. Die Kohlenfeuerung kann nicht ein- und ausgeschaltet werden wie eine elektrische Anlage.

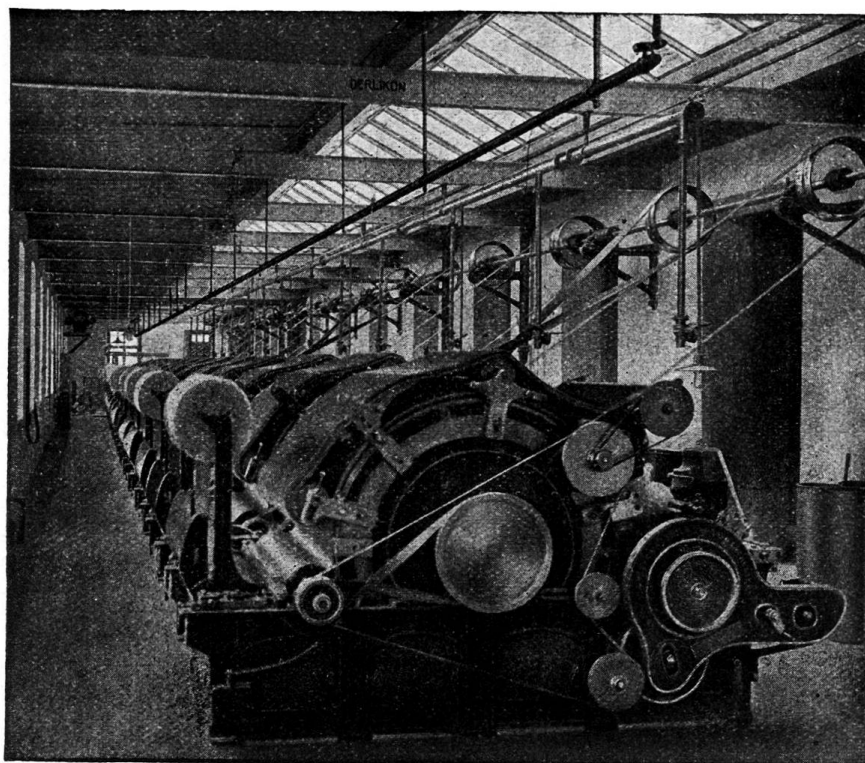


Fig. 1.
 Linearheizung in einer Carderie.

Beim Vergleich zwischen Kohle und Elektrizität für Wärmezwecke darf auf die Analogie hingewiesen werden mit dem Problem der Kraftübertragung mittels Dampfmaschine mit Transmissionen, oder Einzelantrieb durch Elektromotoren.

Ich werde im nachfolgenden zuerst das *allgemeine Schema der Betriebskosten* kurz darstellen, und dann die *wesentlichen Faktoren*, die auf das Betriebskostenäquivalent von Einfluss sind, hervorheben. Hieran wird sich ein Abschnitt über *Versuche zur Bestimmung des Betriebsstoffäquivalentes* anschliessen, ergänzt durch

zahlenmässige Darstellungen solcher Versuche. Am Schlusse werde ich einige Angaben über die Grössenordnung des Aequivalentes zusammenstellen, die die starke Verschiedenheit von Fall zu Fall illustrieren sollen.

II. Allgemeines Schema der Betriebskosten.

Für den Vergleich zwischen mittels Kohlen und elektrisch erzeugter Wärme ist nicht nur die Zahl massgebend, die angibt wieviel kWh erforderlich sind, um 1 kg Kohle zu ersetzen, und die ich als *Betriebsstoffäquivalent* bezeichne, sondern es müssen alle Betriebskosten berücksichtigt werden, wodurch man erst eine richtige Vergleichsbasis erhält.

Ich bezeichne als *Betriebskostenäquivalent* diejenige Zahl, die angibt, den wievielten Teil des Preises eines kg Kohle franko nächster Bahnstation eine kWh kosten darf, damit die gesamten Betriebskosten mit Kohlenfeuerung und mit elektrischer Heizung gleich gross werden.

Das Betriebskostenäquivalent wird im allgemeinen etwas verschieden sein vom Betriebsstoffäquivalent.

In meinen weiteren Ausführungen werde ich mich darauf beschränken, die wesentlichen

Faktoren zu erwähnen, die auf den Vergleich zwischen mittels Kohle bzw. mittels elektrischer Energie erzeugter Wärme von Einfluss sind. Es liegt mir ferne, bestimmte Zahlen festlegen zu wollen. Wo Zahlen genannt werden, geschieht dies nur als Beispiel zur Orientierung über die Grössenordnung. Das Kostenäquivalent muss für jede Anlage von Fall zu Fall berechnet werden. Meine Ausführungen wollen nur durch Zusammenstellung der Faktoren und durch daran geknüpfte Erläuterungen den Rechnungsgang in den speziellen Fällen erleichtern. Solche Kostenberechnungen sollen sich stets über einen grösseren Zeitraum erstrecken. In vielen Fällen lässt sich das Betriebsstoffäquivalent für eine längere Periode durch Versuch bestimmen. Ich komme hierauf später zurück.

Tabelle I zeigt das *allgemeine Schema*, welches als Grundlage einer *Betriebskostenrechnung* dienen kann.

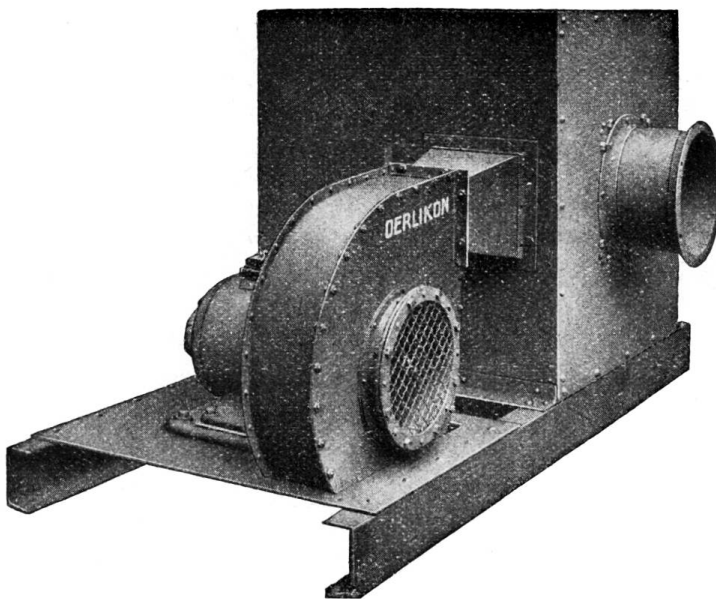


Fig. 2.
Warmluftofen einer Holztrockenanlage.

Tabelle I.

Gestehungskosten einer bestimmten, z. B. im Verlaufe eines Monats benötigten Wärmemenge.

| | |
|---|---|
| 1) Brennstoffkosten, d. h. Produkt aus verfeuerter Kohlenmenge und Kohlenpreis. | } Siehe nachfolgende Aufstellung. |
| 1a) Stromkosten, d. h. Produkt aus verbrauchten kWh und Strompreis. | |
| 2) Kosten des Speisewassers und dessen Reinigung. | } Meistens für Betrieb mit Kohlen und Elektrizität gleich. Bei Hochspannungskesseln kann eine spezielle Wasserreinigung nötig sein. |
| 3) Bedienungskosten, Schmier- und Putzmaterial. | |
| | } Von Fall zu Fall zu vergleichen, insbesondere ob durch elektrischen Betrieb Personal ganz oder teilweise erspart werden kann. |

- | | | |
|-----------------------------------|---|---|
| 4) Unterhalt und Reparaturen. | { | Bei Kohlenkesseln abhängig von Belastung, Kohlenqualität, Speisewasser, Bedienung. |
| | | Bei elektrischen Kesseln abhängig von der Höhe der Spannung, vom Speisewasser. |
| | | Bei direkter elektrischer Heizung abhängig von der Beanspruchung der Heizkörper. |
| 5) Verzinsung der Anlagekosten. | { | Bei schon bestehenden Kohlenfeueranlagen, nur für die zusätzliche elektrische Wärmeanlage zu berücksichtigen. Anlagekosten stark abhängig von der Frage, ob Wärmespeicher erforderlich sind oder nicht. |
| 6) Abschreibung der Anlagekosten. | | |
| 7) Allgemeine Unkosten | { | Sind gelegentlich bei elektrischer Heizung kleiner, z. B. Versicherungsprämien. |

Oft werden drei Hauptgruppen von Anlagen zu vergleichen sein :

- A. Kohlengefeuerte Dampfkessel.
- B. Elektrisch geheizte Dampfkessel.
- C. Direkte elektrische Heizung am Gebrauchsort.

In den Fällen, wo der Vergleich zwischen Kohlengefeuertem Dampfkessel und elektrischem Dampfkessel gemacht werden soll, ist stets auch zu untersuchen, ob nicht direkte elektrische Heizung am Gebrauchsort in Frage käme.

Tabelle II zeigt verschiedene Faktoren, von welchen die *verfeuerte Kohlenmenge* abhängig ist.

Tabelle II.

Die verfeuerte Kohlenmenge ist, ausser von der verlangten Nutzwärme u. a. abhängig von :

- | | | |
|--|---|--|
| a) Wirkungsgrad des Kessels. | { | Belastung pro m ² Heizfläche. |
| | | Art der Feuerung (von Hand oder automatisch). |
| | | Kohlenqualität, Qualität des Speisewassers (Abschlämmen, Entleeren). |
| | | Grösse des Kessels im Verhältnis zum Dampfbedarf. |
| | | Schwankungen des Dampfbedarfes. |
| | | Wasserinhalt des Kessels. |
| | | Temperatur des Speisewassers. (Oekonomiser ¹). |
| | | Qualität des Kamins. |
| b) Verbrauch zum Anheizen. | { | Ausnützung der Abwärme der Rauchgase. |
| | | Güte der Kesselkonstruktion und Isolation. |
| | | Häufigkeit des Anheizens. |
| c) Wärmeverluste in den Betriebspausen | { | Schnelligkeit des Anheizens. |
| | | Dauer der Abkühlungspausen. |
| | | Betrieb nur wenige Stunden täglich. |
| d) Verluste in den Rohrleitungen. | { | Tagesbetrieb oder Tag- und Nachtbetrieb. |
| | | Betrieb nur an Wochentagen oder auch Samstags und Sonntags. |
| | | Rohrleitungen dauernd unter Druck, oder öfters neu anzuwärmen. |
| | | Zentrale Kesselanlage oder mehrere Kessel verteilt auf die Gebrauchszentren. |
| | { | Güte der Rohrleitungsisolierung. |

¹) Beeinflusst nicht den eigentlichen Wirkungsgrad des Kessels, sondern die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

- e) Verluste der Dampf-
anwendung am Ver-
brauchs-ort. { Art der Wärmeaustauschapparate, z. B. für Lufterwärmung,
Wassererwärmung.
Erwärmung von Trockengut, Kochpfannen, Walzen usw.

Der Kohlenpreis ist u. a. abhängig von :

- a) Einkaufspreis fran-
ko Bahnstation. { Geographische Lage.
Grösse des Bedarfes.
Zeitpunkt des Einkaufs.
Beschaffenheit und Stückgrösse.
Heizwert.
- b) Lagerkosten. { Platzverhältnisse.
Lagerverluste.
Zinsverluste.
- c) Transportkosten bis
zum Rost. { Handbetrieb.
Rollwagen.
Automatische Förderung.

Die gleiche Tabelle zeigt auch einige Faktoren, die auf den Kohlenpreis am Kessel Einfluss haben.

Die Tabelle III gibt die analogen Faktoren an für eine elektrisch geheizte Dampfkesselanlage, und in ihrem unteren Teil dieselben für eine direkte elektrische Wärmeanwendung, bei welcher z. B. die oft sehr bedeutenden Rohrleitungsverluste wegfallen.

Tabelle III.

Der Energieverbrauch (in kWh) einer elektrischen Dampfkesselanlage ist, ausser von der verlangten Nutzwärme u. a. abhängig von :

- a) Wirkungsgrad des Kes-
sels. { Grösse des Kessels (von geringem Einfluss) event.
Notwendigkeit einer Dampfspeicherung.
Höhe der Spannung.
Qualität des Speisewassers.
Schwankungen des Dampfbedarfes (von geringem
Einfluss).
Temperatur des Speisewassers.
Güte der Isolation (besonders bei Speicherkesseln
wichtig).
- b) Verbrauch zum Anheizen. { Bei Speicherkesseln wichtig. Elektrische Kessel ohne
Speicherung enthalten meist nur wenig Wasser und
haben geringes Eisengewicht.
- c) Verluste in den Betriebs-
pausen. { Nur bei Speicherkesseln wichtig.
- d) Verluste in den Rohr-
leitungen. { Können oft durch passende Wahl des Standortes, oder
Aufstellung mehrerer Kessel direkt in den Arbeits-
räumen sehr reduziert werden.
- e) Verluste der Dampfan-
wendung am Verbrauchs-
ort. { Gleich wie bei Kohlenkesseln.
- f) Transformerverluste. } Besonders bei Leerlauf zu beachten.
- g) Leitungsverluste. } Meistens klein.

Der Energieverbrauch einer direkten elektrischen Wärmeanwendung ist, ausser von der verlangten Nutzwärme u. a. abhängig von:

- | | |
|--|---|
| a) Verbrauch zum Anheizen. | } Bei Heizkörpern mit kleinen Massen gering. |
| b) Verluste in den Betriebspausen. | } Abschaltbarkeit der Heizung. |
| c) Verluste der Heizapparate am Verbrauchsort. | } Von Fall zu Fall verschieden. Oft ermöglicht der direkte Einbau von elektrischen Heizkörpern sehr hohe Wirkungsgrade. |
| d) Transformerverluste. | } Besonders bei Leerlauf zu beachten. |
| e) Leitungsverluste. | } Meistens klein. |

Hat man einen Fall zu untersuchen, so empfiehlt es sich, die obigen 3 Tabellen durchzusehen, zu prüfen, welche Verluste auch bei elektrischem Betriebe nicht vermieden werden können, und dann festzustellen, welche Faktoren sowohl für Kohlenbetrieb als auch für elektrischen Betrieb gleich bleiben und daher aus der Vergleichsrechnung ausgeschieden werden können. Dabei muss man sich darüber klar werden, welche Faktoren nur dem elektrischen Betrieb zu belasten sind, wenn die Kohlenfeuerung schon besteht und für Teile des Jahres beibehalten werden muss.

Bei den Verhältnissen in der Schweiz ist fast stets mit Doppelanlagen zu rechnen, sodass die Verzinsung und Amortisation der elektrischen Anlage, einseitig den elektrischen Betrieb belastet.

Können Versuche zur genauen Feststellung der verfeuerten Kohlenmenge für eine bestimmte Nutzwärme gemacht werden, so ist dies einer Rechnung vorzuziehen. Andernfalls müssen Rechnungen angestellt werden, wobei die Schätzung

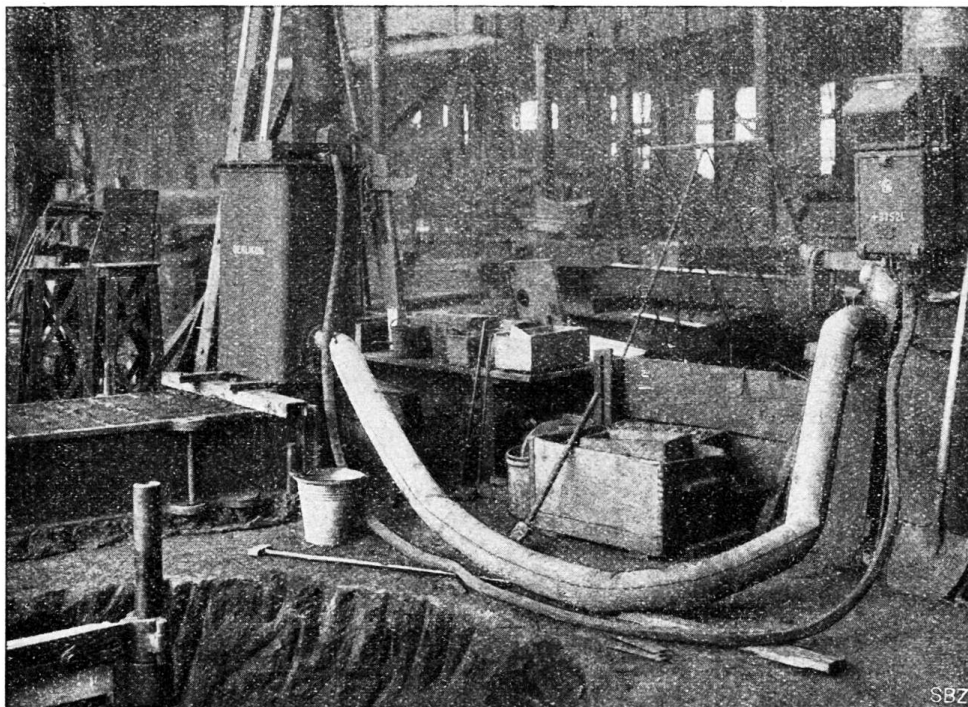


Fig. 3.
Ofen zum Trocknen von Giessereiformen.

des im praktischen Betriebe erreichten Wirkungsgrades oft schwierig ist. Derselbe weicht meistens sehr stark ab von einzelnen Verdampfungsversuchen, wie sie zur Kontrolle der Kesselanlagen im neuen Zustande oft gemacht werden.

Das Rechnungsschema wird meistens ungefähr das folgende sein:

Für die Kohlenfeuerung:

Man schätzt den Wirkungsgrad der Kesselanlage resp. die pro kg Kohle erzeugte Dampfmenge, den Dampfbedarf pro Jahr und bestimmt hieraus den Kohlenverbrauch, wozu ein Zuschlag von 10 bis 2 % für Anheizen kommt.

Die Betriebskosten sind gleich den Kosten für Kohlen + Bedienung + Unterhalt.

Für den elektrischen Betrieb:

Man schätzt den Wirkungsgrad der elektrischen Heizung und bestimmt aus jährlichem Wärmebedarf den Energie-Verbrauch in kWh. Die Betriebskosten sind gleich der Summe der Kosten für Strom, Bedienung, Unterhalt, Verzinsung und Amortisation.

Zieht man die Betriebskosten des elektrischen Betriebes ohne Stromkosten von den Betriebskosten des Kohlenbetriebes ab, so darf der Rest für elektrischen Strom ausgegeben werden. So erhält man den Äquivalenz-Preis der kWh und aus dem Quotient aus Kohlenpreis und kWh-Preis das Betriebskostenäquivalent.

Nebenbei wird aus Kohlenverbrauch und Verbrauch an elektrischer Energie das Betriebsstoffäquivalent gefunden.

Als Beispiel solcher approximativer Vorausberechnungen führe ich folgende Fälle an:

Beispiel I.

Es soll eine Trockenkammer, die stündlich ca. 35 000 Cal benötigt bei täglich 10 Betriebsstunden, einmal mittels eines vertikalen Kohlendampfkessels von ca. 5 m² Heizfläche, der schon vorhanden sein soll, und das andere Mal durch neu zu installierende elektrische Linearheizung erwärmt werden.

a) Jahresbetriebskosten der Kohlenheizung:

1 vertikaler Dampfkessel von ca. 5 m² Heizfläche.

Betriebsdruck 6 Atm., Dampferzeugung pro Stunde $5 \times 12 = 60$ kg.

Betriebsdauer: 10 Stunden täglich, 3000 Stunden jährlich.

Wirkungsgrad des Kessels im praktischen Betriebe inklusive Rohrleitungsverluste ca. 50 %.

Heizwert der Kohle 7000 WE/kg.

Preis Fr. 73.— pro Tonne franko nächste Bahnstation und

Preis Fr. 75.— pro Tonne franko Kesselhaus.

Speisewasser-Temperatur 15° C.

Verdampfung: $\frac{7000 \times 0,5}{662,0 - 15} = 5,42\text{-fach.}$

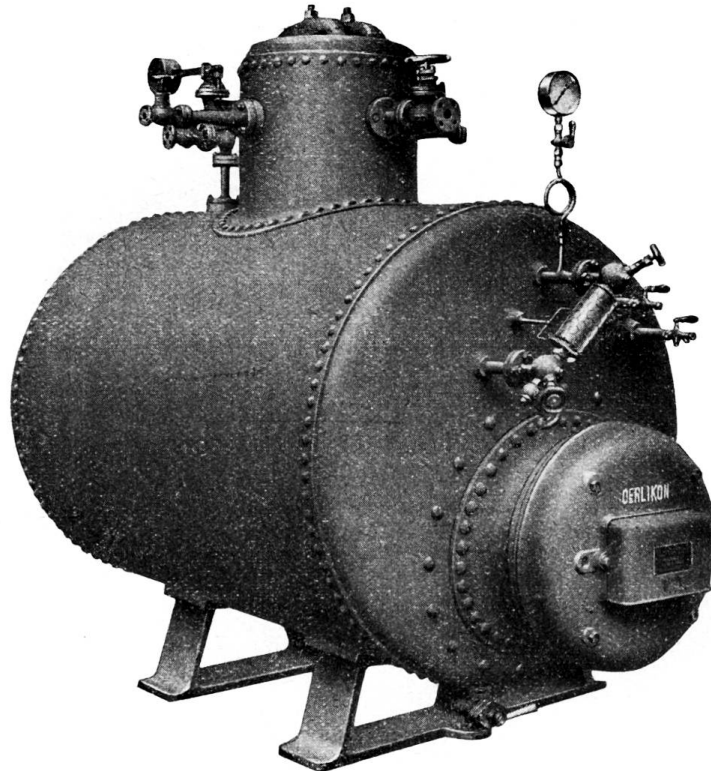


Fig. 4.
Röhrendampfkessel einer Textilfabrik.

| | | |
|----------------------------|-------------------------|------------------|
| Dampferzeugung pro Jahr | $3000 \times 60 =$ | kg 180 000 |
| Kohlenverbrauch pro Jahr | $\frac{180\,000}{5,42}$ | = kg 33 300 |
| Zuschlag für Anheizen 10 % | | = kg 3 300 |
| Kohlenverbrauch pro Jahr: | | <u>kg 36 600</u> |

Betriebskosten:

| | |
|---|-------------------|
| Brennmaterial $36,6 \times 75$ | = Fr. 2750.— |
| Unterhalt | = Fr. 50.— |
| Bedienung | = Fr. 2000.— |
| Betriebskosten bei Kohlenfeuerung pro Jahr: | <u>Fr. 4800.—</u> |

b) Jahresbetriebskosten der elektrischen Heizung:

1 Linearheizung direkt in die Trockenkammer eingebaut.

Leistung für 35 000 Kal./Std. 41 kW. Wirkungsgrad inklusive

Leitungsverluste vom Zähler weg 95 %. 3000 Betriebsstunden jährlich.

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|---------------|
| Verbrauch an kWh pro Jahr | $\frac{3000 \times 41}{0,95}$ | = kWh 130 000 |
|---------------------------|-------------------------------|---------------|

Da bei der Kohlenfeuerung 36 600 kg Kohle verbraucht wurden, beträgt das *Betriebsstoffäquivalent* $130\,000 : 36\,600 = \text{ca. } 3,6$.

Betriebskosten der elektrischen Heizung:

| | |
|---|------------------|
| Unterhalt | Fr. 50.— |
| Bedienung | Fr. 100.— |
| Verzinsung und Amortisation 15 % der Anlagekosten, die fertig montiert inkl. Leitungen ca. Fr. 3200.— betragen: | <u>Fr. 480.—</u> |
| Total ausser den Stromkosten | <u>Fr. 630.—</u> |

Da die jährlichen Betriebskosten mit Kohlenheizung Fr. 4800.— betragen, dürfen die 130 000 kWh bei gleichen Gesamtkosten $4800 - 630 = \text{Fr. } 4170.—$ kosten, d. h. 1 kWh = 3,2 Cts., oder bei 7,3 Cts. Kohlenpreis den 2,28-ten Teil eines kg Kohle. Das *Betriebskostenäquivalent* beträgt 2,28.

Sehr wichtig ist es zu beachten, dass, wenn in den 10 Arbeitsstunden Betriebspausen vorkommen würden von insgesamt $\frac{1}{4}$ der Arbeitszeit, wie dies bei Betrieben anderer Art als gerade Trockenanlagen häufig der Fall ist, die Kosten der Kohlenfeuerung sehr wenig reduziert würden, während die verbrauchten kWh sich nahezu um $\frac{1}{4}$ verringern würden. Das Betriebsstoffäquivalent würde dadurch von ca. 3,6 auf ca. 3,0 sinken, und das Betriebskostenäquivalent von 2,28 auf ca. 1,83 heruntergedrückt, sodass das Gleichgewicht der Betriebskosten bei rund 4,0 Cts./kWh statt 3,2 Cts. liegen würde. Noch günstiger liegen die Verhältnisse für die elektrische Heizung, wenn der Dampf nicht in einem kleinen vertikalen Kessel, sondern in einem vorhandenen für die Winterheizung dimensionierten Gross-Wasserraum-Kessel erzeugt werden müsste, da dann der Wirkungsgrad des Kohlenkessels statt 50 % vielleicht nur 30 % oder noch weniger betragen würde.

Beispiel II.

Mittelgrosse Dampfkesselanlage, 140 m² Heizfläche, mit Tagesbetrieb, einmal mit bestehender Kohlenfeuerung und das andere Mal als Elektrodenkessel von 2500 kW, der neu anzuschaffen wäre.

a) Jahresbetriebskosten der Kohlenfeuerung:

Mittelgrosse Kesselanlage mit Tagesbetrieb.

2 Zweiflammrohrkessel, je 70 m² Heizfläche, ohne Economiser.

Betriebsdruck 8 At.

Dampferzeugung pro Stunde $2 \times 70 \times 20 = 2800$ kg.

Betriebsdauer 10 Stunden täglich, 3000 Stunden jährlich.

Wirkungsgrad der Kesselanlage ca. 65 %.

Heizwert der Kohle 7000 WE/kg.

Preis Fr. 68.— pro Tonne franko Bahnstation.

Preis Fr. 70.— pro Tonne franko Kesselhaus.

Speisewassertemperatur 15° C.

Verdampfung: $\frac{7000 \times 0,65}{664,9 - 15} = 7,0$ -fach.Dampferzeugung pro Jahr $3000 \times 2800 =$ kg 8 400 000Kohlenverbrauch pro Jahr $\frac{8\,400\,000}{7,0} =$ kg 1 200 000

Zuschlag für Anheizen 5 % = kg 60 000

Kohlenverbrauch pro Jahr: kg 1 260 000*Betriebskosten:*Brennmaterial $1260 \times 70 =$ Fr. 88 200.—

Unterhalt, Roststäbe usw. = Fr. 500.—

Bedienung: 2 Heizer und 1 Hilfsarbeiter = Fr. 12 000.—

Betriebskosten der Kohlenfeuerung pro Jahr Fr. 100 700.—*b) Jahresbetriebskosten des elektrischen Kessels:*

1 Elektroden-Dampfkessel von 2500 kW für Hochspannung, Dampfproduktion im Mittel 2800 kg/Std., bei einer Aufnahme von im Mittel 2200 kW, inkl. Anheizen.

kWh-Verbrauch pro Jahr bei 3000 Betriebsstunden:

 $3000 \times 2200 = 6,6 \times 10^6$ kWh gegenüber $1,26 \times 10^6$ kg Kohle.*Betriebsstoffäquivalent* $6,6 : 1,26 = 5,25$.*Betriebskosten der elektrischen Anlage:*

Unterhalt = Fr. 500.—

Bedienung: 1 Heizer, 1 Hilfsarbeiter = Fr. 7 000.—

Verzinsung und Amortisation 15 % der Anlagekosten von
ca. Fr. 36 000.— = Fr. 5 400.—Total ausser den Stromkosten Fr. 12 900.—

Da die jährlichen Betriebskosten mit Kohlenheizung Fr. 100 700.— betragen, dürfen die $6,6 \times 10^6$ kWh $100\,700 - 12\,900 =$ Fr. 87 800.— kosten, d. h. 1 kWh = 1,33 Cts., oder bei 6,8 Cts. Kohlenpreis den 5,1-ten Teil eines kg Kohle.

Betriebskostenäquivalent 5,1.

Anmerkung: Wenn eine Speicheranlage erforderlich ist, so steigt der kWh-Verbrauch der elektrischen Heizung um ca. 15–20 % und die Anlagekosten werden entsprechend grösser.

Beispiel III.

Bestehende grössere Dampfkesselanlage von 400 m² Heizfläche, mit Tag- und Nachtbetrieb im Vergleich mit neu zu erstellender Elektrodenkesselanlage von 8000 kW.

a) Jahresbetriebskosten der Kohlenfeuerung:

Grössere Kesselanlage mit Tag- und Nachtbetrieb.
 4 Zweiflammrohrkessel, je 100 m² Heizfläche, mit Economiser und mechanischen Feuerungen. Betriebsdruck 10 At.
 Dampferzeugung pro Stunde $4 \times 100 \times 20 = 8000$ kg.
 Betriebsdauer 24 Stunden täglich = 7200 Stunden jährlich.
 Wirkungsgrad der Anlage 75 %.
 Heizwert der Kohle 7000 WE/kg.
 Preis Fr. 63.— pro Tonne franko Bahnhof.
 Preis Fr. 65.— pro Tonne franko Kesselhaus.
 Speisewassertemperatur 15° C.
 Verdampfung: $\frac{7000 \times 0,75}{667,1 - 15} = 8,05\text{-fach.}$
 Dampferzeugung pro Jahr $7200 \times 8000 =$ kg 57 600 000.
 Kohlenverbrauch pro Jahr $\frac{57\,600\,000}{8,05} \quad . \quad . \quad . =$ kg 7 170 000
 Zuschlag für Anheizen 1 % $. \quad . \quad . \quad . =$ kg 70 000
 Kohlenverbrauch pro Jahr kg 7 240 000

Betriebskosten:

Brennmaterial $7240 \times 65 \quad . \quad . \quad . =$ Fr. 470 000.—
 Unterhalt, Roststäbe usw. $. \quad . \quad . =$ Fr. 6 000.—
 Bedienung: 3 Oberheizer, 6 Heizer, 3 Hilfsarbeiter $. =$ Fr. 54 000.—
 Betriebskosten der Kohlenfeuerung pro Jahr Fr. 530 000.—

b) Jahresbetriebskosten des elektrischen Betriebes:

2 Elektroden-Dampfkessel zu je 4000 kW, total 8000 kW Leistung, für Hochspannung. Dampfproduktion im Mittel pro Stunde 8000 kg bei einer Leistungsaufnahme von im Mittel 6200 kW.
 Energieverbrauch pro Jahr bei 7200 Betriebsstunden $7200 \times 6200 = 44,7 \times 10^6$ kWh gegenüber $7,17 \times 10^6$ kg Kohle.

Betriebsstoffäquivalent $44,7 : 7,17 = 6,22.$

Betriebskosten des elektrischen Betriebes:

Unterhalt $. \quad . \quad . \quad . =$ Fr. 5 000.—
 Bedienung: 3 Heizer, 3 Hilfsarbeiter $. \quad . \quad . =$ Fr. 22 500.—
 Verzinsung und Amortisation $. \quad . \quad . =$ Fr. 12 000.—
 Total ausser den Stromkosten Fr. 39 500.—

Da die jährlichen Betriebskosten mit Kohlenheizung Fr. 530 000.— betragen, dürfen die $44,7 \times 10^6$ kWh $530\,000 - 39\,500 =$ Fr. 490 500.— kosten, d. h. 1 kWh = 1,09 Cts., oder bei 6,3 Cts. Kohlenpreis den 5,78-ten Teil eines kg Kohle.

Betriebskostenäquivalent 5,78.

Falls Oelfeuerung statt Kohlenfeuerung mit elektrischer Heizung zu vergleichen ist, so gilt heute etwa folgendes:

Zur Zeit kostet 1 Tonne polnisches Gasöl von rund 10500 Cal netto franko verzollt ostschweizerische Bahnstation ca. Fr. 153.50 gegenüber etwa Fr. 70.— Kohlenpreis pro Tonne (bei 7200–7500 Cal). Der Wirkungsgrad der Oelfeuerung kann vielleicht um etwa 3% höher angenommen werden als bei Kohlenfeuerung.

III. Versuche zur Bestimmung des Betriebsstoffäquivalentes.

Besser als durch Berechnungen lässt sich an bereits elektrifizierten Anlagen dieses Äquivalent durch einen Versuch bestimmen. Die Dauer eines solchen Versuches sollte wenn möglich für jede Betriebsart nicht weniger als eine Woche inkl. Samstag und Sonntag betragen und betreffend Wärmeproduktion unter möglichst gleichen Verhältnissen durchgeführt werden.

Bei einem solchen Vergleichsversuch an einer Dampfkesselanlage soll stündlich gemessen bzw. abgelesen werden:

| | |
|------------------------|---------------|
| Kohlenverbrauch | Wasserstand |
| Speisewassermenge | kWh-Verbrauch |
| Speisewassertemperatur | Spannung |
| Kesseldruck | Stromstärke |

Die Dimensionen des Dampfkessels, der Wasserinhalt in Abhängigkeit des Wasserstandes usw. sind zu bestimmen.

Der Heizwert der Kohle soll durch mehrere Proben festgestellt und der Kohlenpreis notiert werden.

Aus dem mittleren Wärmeinhalt des Dampfes ergibt sich nach Abzug des mittleren Wärmeinhaltes des Speisewassers die Erzeugungswärme des Dampfes und zusammen mit der total verdampften Wassermenge die gesamte Nutzwärme. Man stellt dann z. B. fest, wieviel kg Kohle einerseits und wieviel kWh andererseits für die Erzeugung der für beide Fälle auf gleiche Grösse korrigierten gesamten Nutzwärme erforderlich waren. Der Quotient der kWh elektrischer Energie dividiert durch die kg Kohle gibt dann das Betriebsstoffäquivalent.

Beispiel A.

(Gemischter Betrieb mit Kohlenkessel und Elektrokessel).

Die Tabelle IV gibt für den für die elektrische Heizung ungünstigen Fall des grossen Kohlenkessels ergänzt durch einen kleinen Reivessel, im Vergleich zum Betrieb des Kohlenkessels allein, die Resultate eines Versuches je einer Woche.

Tabelle IV.

Vergleichsversuch zwischen Kohlenfeuerung allein und gemischten Betrieb²⁾.

Dampfkessel für Kohlenfeuerung mit 101 m² Heizfläche, 10 At., normale Leistung ca. 1600 kg Dampf/St., ergänzt durch elektrische Heizung mittels Elektrokessel

²⁾ Nach Versuchen von Herrn Wettstein der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

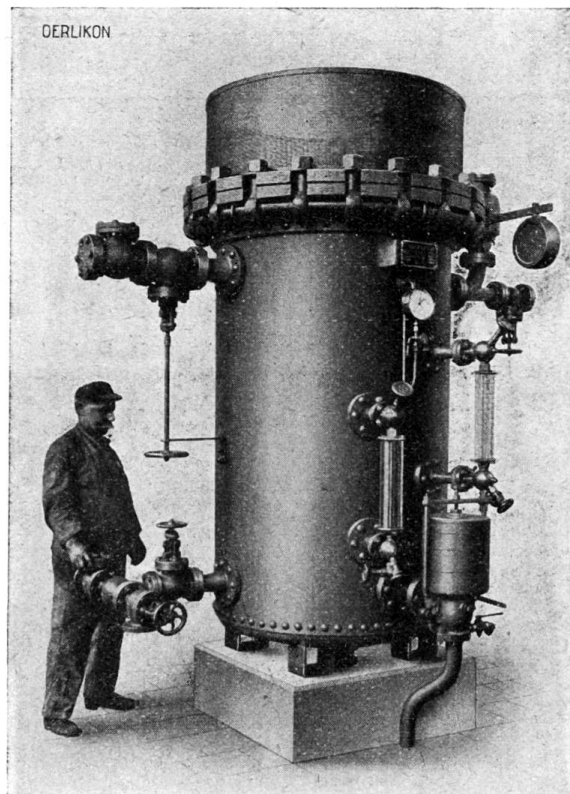


Fig. 5.
Hochspannungs-Elektrodenkessel.

250 kW, normale Leistung ca. 320 kg Dampf/St. Da die Differenz in der gesamten pro Woche verdampften Wassermenge nur 3,6 % betrug, wurden die Resultate der ersten Woche auf die in der zweiten Woche verdampfte Wassermenge reduziert, und zwar im Verhältnis von 97 746 kg zu 101 422 kg Speisewasser.

| Bemerkungen | | Erste Woche Kohlen- kessel allein | Zweite Woche [gemischter Betrieb] | | |
|--|---------------------|--|-----------------------------------|--------------------|---------|
| | | | Kohlen- kessel | Elektro- kessel | Total |
| Verdampfte Wassermenge | kg | 101 422 | 75 922 | 25 515 | 101 422 |
| Mittlerer Dampfdruck | At | 8,1 | 8,5 | 10,7 | |
| Mittlere Speisewassertemperatur | °C | 56,7 | 71,2 | 8,6 | |
| Wärmeinhalt eines kg Dampfes | Cal | 665 | 665,4 | 667,1 | |
| Wärmeinhalt eines kg Speisewassers | Cal | 56,8 | 71,2 | 8,6 | |
| Erzeugungswärme | Cal | 608,2 | 594,2 | 658,5 | |
| Gesamte Nutzwärme in | 10 ⁶ Cal | 61,9 | 45,1 | 16,8 | 61,9 |
| Verbrauchte Kohlen von 7854 Cal Heizwert | kg | 11 000 | 7 880 | — | 7 880 |
| Zugeführte elektrische Energie | kWh | — | — | 20 820 | 20 820 |

Die Differenz des Kohlenverbrauches der ersten und der zweiten Woche beträgt 3120 kg, diese Kohlenmenge wurde ersetzt durch 20 820 kWh. 1 kg Kohle von 7854 Cal wurde ersetzt durch $\frac{20\,820}{3120} = 6,67$ kWh (Betriebsstoffäquivalent).

Beispiel B.

(Sommerspeicheranlage).

Für eine reine elektrische Dampfspeicheranlage für Sommerabfallstrom (Revelkessel 400 kW, mit 2 Dampfspeicherkesseln, für 5000 kWh Aufnahme), gibt das Leistungsdiagramm der Anlage von Daniel Jenny & Cie. in Haslen (Kt. Glarus) eine Uebersicht über das Verhältnis der kWh-Aufnahme zur nützlichen Wärmeabgabe.

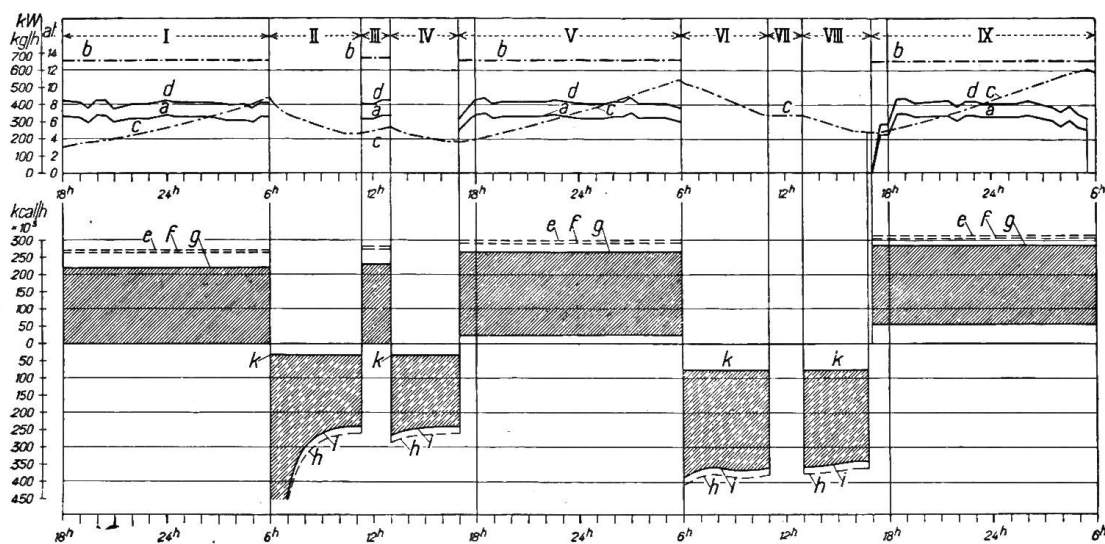


Fig. 6.

Leistungsdiagramm der Nachkraft-Speicheranlage D. Jenny, Ennenda, mit Revel-Dampferzeugern. Zeitabschnitte I, III, V, IX Aufladen; II, IV, VI, VIII Entladen der Speicherkessel; VII Stillstand der Anlage. LEGENDE: a Energieaufnahme des Revel-Kessels in kW; b Dampfüberdruck im Revel-Kessel in at; c Dampfüberdruck in den Dampfspeicherkesseln in at; d Dampfproduktion des Revel-Kessels in kWh; e Brutto-Energieaufnahme des Revel-Kessels in Cal/h; f nützliche Wärmeabgabe des Revel-Kessels in Cal/h; g Netto-Wärmespeicherung der Dampfspeicherkessel in Cal/h; h Brutto-Wärmeentzug aus den Dampfspeicherkesseln in Cal/h; i Nutzbarer Wärmeentzug aus den Dampfspeicherkesseln in Cal/h; j Zurückbleibende Speicherwärmemenge in den Dampfspeicherkesseln in Cal/h.

Aus den während je 4 Monaten durchgeführten Beobachtungen, mit Kohlenfeuerung bzw. mit elektrischer Dampferzeugung und Speicherung, ergibt sich (korrigiert auf die gleiche Produktionsmenge der Fabrik), dass für den gleichen Zweck einmal 44 000 kg Kohle von 7000–7500 Cal Heizwert und das andere Mal 275 000 kWh verbraucht wurden, woraus sich das *Betriebsstoffäquivalent* von 6,25 ergibt.

Beispiel C.

(Dampfspeicheranlage für Winternachtstrom).

Reiner Heizungsbetrieb.

- a) 2 Zweiflammrohrkessel, 7 At., je 90 m² Heizfläche, ein Kessel im Betrieb.
- b) 2 Elektrodendampferzeuger, System Revel, 500 Volt, je 430 kW, 13 At.
1 Speicherkessel, 39 m³ Totalvolumen, 12 At.

Bei diesem Beispiel mussten die beobachteten Zahlen teilweise durch Rechnung ergänzt werden, wobei im Mittel angenommen wurde, dass der Kohlenkessel täglich während 5 Stunden normal belastet war und weitere 5 Stunden ganz schwach belastet. Der Wirkungsgrad beträgt dabei ca. 65 %, wozu 10 % Zuschlag zur Kohlenmenge für das Anheizen kommen. Der Kohlenheizwert wurde im Mittel zu 7500 WE angenommen.

Der elektrische Kessel war durchschnittlich wie folgt im Betrieb:

| | | | |
|---------------------------------|---------------------|---|-------------------|
| Sonntag auf Montag | 20 Uhr bis 5.30 Uhr | = | 9,5 Stunden |
| Uebrige 5 Tage | 22 Uhr bis 5.30 Uhr | = | 37,5 Stunden |
| 5 Tage noch ausserdem | 12 Uhr bis 13 Uhr | = | 5 Stunden |
| Total pro Woche Betriebsstunden | | | <u>52 Stunden</u> |

Der Speicher benötigt für eine Aufladung 3500 kWh, in einer Woche also $6 \times 3500 = 21\,000$ kWh. Die übrige Energie wird zur direkten Dampferzeugung verwendet. Der Wirkungsgrad des Revelkessels war 98 %. Die Verluste des Speichers in einer Woche betrugen in 168 Stunden 3000 kWh.

| | I. Woche Kohlenbetrieb | II. Woche Elektr. Betrieb |
|---|---------------------------|------------------------------|
| Verdampfte Wassermenge | 58 100 kg | 58 100 kg |
| Mittlerer Dampfdruck | 6 At | 10 At |
| Mittlere Speisewassertemperatur | 70° C | 70° C |
| Wärmeinhalt 1 kg Dampf | 662,0 WE | 667,1 WE |
| Wärmeinhalt 1 kg Speisewasser | 70 WE | 70 WE |
| Erzeugungswärme für 1 kg Dampf | 592,0 WE | 597,1 WE |
| Gesamte Nutzwärme | 34 350 000 WE | 34 660 000 WE |
| Verbrauchte Kohlenmenge | 7750 kg | — |
| Verbrauchte elektrische Energie | — | 44 200 kWh |

Es wurden zur Erzielung der gleichen Nutzleistung das eine Mal 7750 kg Kohlen und das andere Mal 44 200 kWh verbraucht. Das *Betriebsstoffäquivalent* beträgt somit 5,7, eine trotz der Speicherung ziemlich günstige Zahl.

Beispiel D.

Grossdampfkesselanlage von ca. 700 m² Heizfläche, für 24-stündigen Betrieb, daneben Elektrodendampfkessel von total ca. 2300 kW als Ergänzung zu den Kohlenkesseln und ca. 3300 kW direkte elektrische Wärmeanwendungen, die den Umweg über die Dampferzeugung vermeiden.

Durch eine Reihe von Versuchen wurde festgestellt, dass für eine bestimmte Nutzwärme am Verbrauchsort, welche 1000 kg Dampf entspricht, bei elektrischer Dampferzeugung 816,2 kWh erforderlich waren, und bei direkter elektrischer

Heizung 648 kWh, alles bei 24-stündigem durchgehendem Betrieb. Die Kohlenfeuerung brauchte somit für den gleichen Zweck 26 % Energie mehr als die direkte elektr. Heizung.

Nimmt man für die grosse Dampfkesselanlage 8-fache Verdampfung an, so werden zur Erzeugung von 1000 kg Dampf 125 kg Kohle benötigt.

Es ergeben sich dann das

Betriebsstoffäquivalent zwischen Kohle und elektrischer Dampferzeugung 6,52.

Betriebsstoffäquivalent zwischen Kohle und direkter elektrischer Heizung 5,18.

Dies zeigt in diesem Fall den grossen Vorteil der direkten elektrischen Wärmeanwendung gegenüber dem Umwege über die Dampferzeugung.

Beispiel E.

Laut freundlicher Mitteilung der Gesellschaft des Aare- und Emmenkanals A.-G. beträgt der Wirkungsgrad des Elektrodendampfkessels 4000 kW, 10 500 Volt, der Cellulosefabrik Attisholz, der durch einen

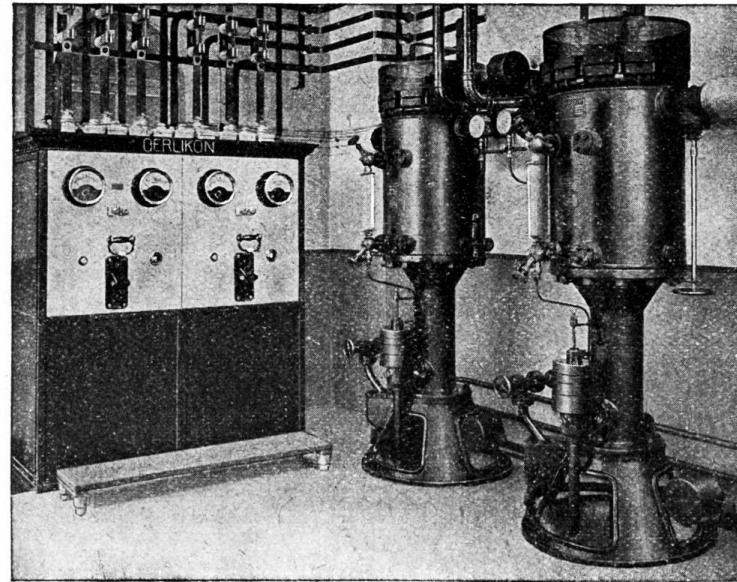


Fig. 7.

Revel-Kessel, Anlage Heer & Cie., Thalwil (siehe auch Fig. 8).

Versuch bestimmt wurde, rund 98 %, so dass die Nutzwärme pro 1 kWh $864 \times 0,98 = 854$ Cal betrug. Schätzt man die Nutzwärme eines kg Kohle von 7000 Cal bei einem Gesamtwirkungsgrad der Kohlenkesselanlage zu ca. 75 % auf $7000 \times 0,75 = 5250$ Cal, so würde sich ein *Betriebsstoffäquivalent von 6,15* ergeben.

Ergebnisse eines eigentlichen Betriebsvergleichs-Versuches, z. B. 1 Woche Kohlenfeuerung, 1 Woche Kohlenkessel mit Elektrokessel

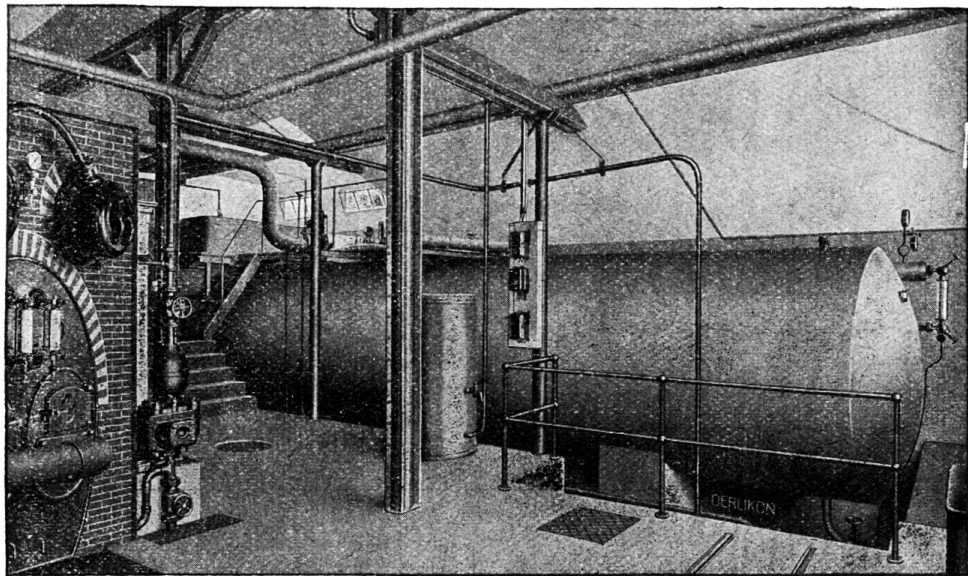


Fig. 8.

Dazugehöriger Dampfspeicherkessel (siehe Fig. 7).

gemeinsam, wie z. B. in Tabelle IV dargestellt, stehen zur Zeit nicht zur Verfügung. Erst diese Zahlen würden ein definitives Bild geben.

Von der neuesten grossen Anlage der Lonza A. G. Visp, 5000–7500 kW, 16 000–17 500 Volt Drehstrom, liegen noch keine ausführlichen Messungen vor,

so dass ich keine Zahlen anführen kann. Diese letztere Anlage hat die Eigentümlichkeit, dass die Regulierung der Kesselleistung nicht durch Verlängerung oder Verkürzung des Stromweges im Wasser mittels Isolierrohren erfolgt, sondern, dass der Querschnitt des als Stromleiter dienenden Wassers reguliert wird, so dass bei grösster Leistung das aktiv beteiligte Wasservolumen am grössten ist. Auf die Bedeutung dieses Prinzips habe ich schon früher im Bulletin der Maschinenfabrik Oerlikon hingewiesen. Der Lonza-Kessel konnte bei voller Spannung von 16 000 Volt innerhalb 2–3 Minuten von 400 kW auf 5000 kW herauf und herunter reguliert werden.

Spezialfälle.

Beispiel F.

Kleinere Dampfkesselanlage mit nur 3 Betriebstagen pro Woche (Sommertagesstrom) vorwiegend für Trockenzwecke.

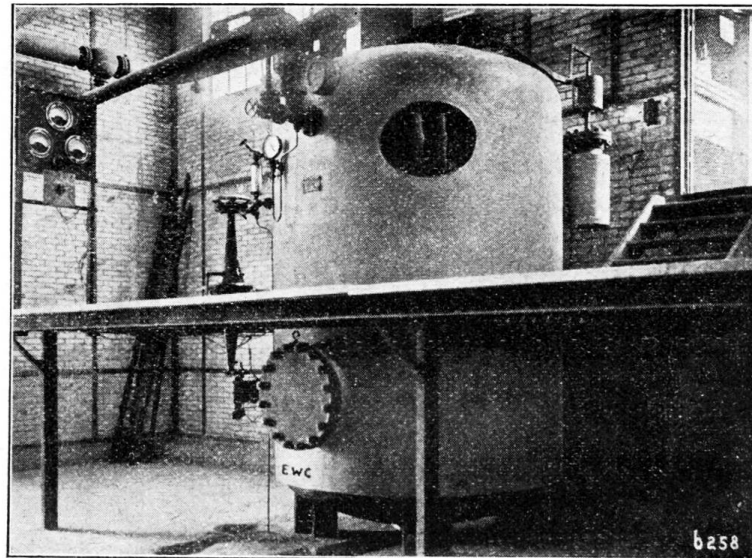


Fig. 8.

5000 kW Elektrodendampfkessel für 16000 V der Lonza A.-G., Visp.

- a) 2 Halbröhrenkessel von je ca. 85 m² Heizfläche, 8 At, wovon immer nur 1 Kessel in Betrieb.
- b) 1 Revelkessel, 500 Volt, 430 kW, 9 At.

Auch hier mussten die beobachteten Zahlen teilweise durch Berechnung ergänzt werden, auf folgender Grundlage:

a) *Kohlenkessel* während 3 Tagen in der Woche von 6 Uhr bis 16 Uhr im Betrieb mit ganz schwacher Belastung (250–300 kg Dampf pro Stunde bei einer normalen Leistung des Kessels von ca. 1300 kg/Std.), Wirkungsgrad 60 %, sofern der Rost entsprechend der kleinen Leistung verkleinert wird. Wird der Rost nicht abgedeckt, so ergibt sich ein Wirkungsgrad von 45 %.

b) *Elektrodenkessel* während 3 Tagen in der Woche 10 Stunden im Betrieb, mit einer mittleren Belastung von ca. 210 kW, Wirkungsgrad 97 % für den Kessel und 98 % für den Transformator.

| | I. Woche Kohlenbetrieb | II. Woche Elektr. Betrieb |
|--|---------------------------|------------------------------|
| Verdampfte Wassermenge | 8150 kg | 8150 kg |
| Mittlerer Dampfdruck | 8 At | 8 At |
| Mittlere Speisewassertemperatur | 20° C | 20° C |
| Wärmeinhalt 1 kg Dampf | 664,9 WE | 664,9 WE |
| Wärmeinhalt 1 kg Speisewasser | 20 WE | 20 WE |
| Erzeugungswärme 1 kg Dampf | 644,9 WE | 644,9 WE |
| Gesamte Nutzwärme | 5 250 000 WE | 5 250 000 WE |
| Verbrauchte Kohlen (7500 WE) (inkl. 10 % für Anheizen) ca. | 1720 kg | — |
| Zugeführte elektrische Energie | — | 6440 kWh |

Es wurden zur Erzielung der gleichen Nutzleistung das eine Mal 1720 kg Kohle verfeuert und das andere Mal 6440 kWh verbraucht.

Das Betriebsstoffäquivalent beträgt somit 3,75.

Bei diesem Beispiel bietet die elektrische Heizung grosse Vorteile, namentlich weil die Wärme nur an 3 Tagen der Woche benötigt wird, und weil der kohlengefeuerte Dampfkessel schwach belastet ist. Durch Abdecken eines Teiles des Rostes lässt sich der Kohlenverbrauch pro Woche noch um ca. 350 kg reduzieren, wodurch das Betriebsstoffäquivalent von 3,75 auf 4,68 steigt. Man sieht, wie sehr das Betriebsstoffäquivalent von der Bedienung der Anlage abhängig ist!

Beispiel G.

Diese Anlage besitzt einen grösseren Kohlendampfkessel, der im Sommer eine kleine Dampfmenge von ca. 600–700 kg Dampf pro Arbeitstag für eine Trockenanlage lieferte. Durch Einbau von elektrischer Heizung mit ca. 60 kW Gesamtleistung, die aber selten ganz eingeschaltet ist, wurde die Dampfanlage im Sommer stillgelegt. Eine kleine Wärmemenge, die unbedingt in Form von Dampf für Fabrikationszwecke benötigt wurde, wurde in einem direkt am Verbrauchsort aufgestellten elektrischen Dampfkessel von 15 kW erzeugt.

Durch Notieren des Kohlenverbrauches und der verwendeten kWh in längeren Betriebsperioden bei ungefähr gleicher Fabrikation, wurde gefunden:

Betriebsstoffäquivalent zwischen Kohlenheizung und elektrischer Heizung ca. 1,0, d. h. es wurden vorher ebensoviel kg Kohle verfeuert, wie nachher kWh verbraucht wurden.

Hier sind es die langen Rohrleitungen und die sehr kleine Belastung des grossen Kohlendampfkessels, welche zu diesem Resultat führen.

Mit diesem allerdings extremen Betriebsfall wollen wir die Reihe der Betriebsbeispiele schliessen.

IV. Grössenordnung des Betriebsstoffäquivalentes verschiedener Arten von Wärmeanlagen.

Die bisherigen Betrachtungen haben die Verschiedenheit des Äquivalentes je nach der Art der Anlage, den Verhältnissen und der Bedienung usw. gezeigt.

Wenn ich also im nachstehenden einige Erfahrungszahlen zusammenstelle, so dürfen diese keineswegs als absolute Zahlen betrachtet werden. Sie sollen vielmehr die Unterschiede von Fall zu Fall noch deutlicher hervorheben.

| | | | | | |
|----|--|-------|---------------------------------------|---|---|
| a) | Kochen im Vergleich mit Gas | . . . | ca. 3,0 ÷ 4,0 kWhm ³ / Gas | | |
| | Kochen im Vergleich mit Kohlenherd | . . . | „ 1,0 ÷ 2,0 kWh/kg Kohle | | |
| b) | Zimmeröfen Uebergangszeit | . . . | „ 1,0 ÷ 2,0 | „ | „ |
| | Zimmeröfen Winterheizung | . . . | „ 1,0 ÷ 3,0 | „ | „ |
| c) | Zentralheizung Uebergangszeit | . . . | „ 2,0 ÷ 4,0 | „ | „ |
| | Zentralheizung Winterheizung | . . . | „ 4,0 ÷ 5,0 | „ | „ |
| d) | Warmwasserbereitung im grossen | . . . | „ 4,3 | „ | „ |
| e) | Direkte Raumheizung in grossen Werkstätten | | | | |
| | Uebergangszeit | . . . | „ 2,0 ÷ 4,0 | „ | „ |
| | Winterheizung | . . . | „ 4,0 ÷ 4,0 | „ | „ |
| f) | Industrielle Wärmeanwendungen, z. B. Walzen- | | | | |
| | heizung, Trockenanlagen, Schlichtmaschinen, | | | | |
| | Destillieranlagen usw. | . . . | „ 1,0 ÷ 5,0 | „ | „ |
| g) | Kleiner Dampfkessel, Tagesbetrieb | . . . | „ 3,0 ÷ 5,0 | „ | „ |
| h) | Mittelgrosser Dampfkessel, Tagesbetrieb | . . . | „ 5,0 ÷ 5,5 | „ | „ |
| k) | Mittelgrosser Dampfkessel, Tagesbetrieb mit | | | | |
| | Speicherung von Nachtkraft f. Winterheizung | . . . | „ 5,7 | „ | „ |
| l) | Grosse Dampfkesselanlage für Tag- und Nacht- | | | | |
| | betrieb | . . . | „ 5,8 ÷ 6,2 | „ | „ |
| m) | Grosse Dampfkesselanlage mit gleichzeitiger | | | | |
| | Kohlenfeuerung und elektr. Dampferzeugung | . . . | „ 6,5 | „ | „ |

Spezialfälle:

| | |
|--|----------------------------|
| n) Direkte elektr. Heizung im Vergleich mit Gross-Dampfkesselanlage bei 24 stündigem Betrieb | ca. 4,0 ÷ 5,5 kWh/kg Kohle |
| o) Kleine Dampfkesselanlage mit nur 3 Betriebstagen in der Woche | „ 3,75 „ „ |
| p) Kleiner Dampfbedarf bei grossem Dampfkessel im Vergleich zu direkter elektrischer Heizung, Tagesbetrieb | „ 1,0 ÷ 3,0 „ „ |
| usw. usw. | |

Anmerkung: Die Angabe 4 ÷ 5 usw. will nicht bedeuten, dass der Wert zwischen 4 und 5 liegen müsse, sondern dass schon Werte von 4 und solche von 5 beobachtet wurden.

V. Schlusswort.

Wenn ich versucht habe, im Rahmen eines kurzen Vortrages das etwas spröde Thema, welches eigentlich eine viel ausführlichere Behandlung benötigt, von verschiedenen Seiten zu beleuchten, so bin ich mir wohl bewusst, dass meine Ausführungen nur eine Art Gerippe bilden können als Anregung zur ausführlichen Behandlung der einzelnen Fälle, und dass ich die einzelnen Punkte nur streifen, aber nicht erschöpfend darstellen konnte.

Auch musste ich mich darauf beschränken, die heute üblichen Wärmeanlagen zu behandeln. Die Verhältnisse können sich sehr wesentlich verschieben, sobald die Wärmewirtschaft eines Unternehmens als Ganzes einheitlich gestaltet und mit der Krafterzeugung verbunden wird. Ich brauche nur an die Dampfkesselanlagen mit sehr hohen Drucken, verbunden mit Dampfturbinen mit Zwischendampfentnahme oder Gegendruck und Verwertung des Zwischen- oder Abdampfes, für Heizzwecke zu erinnern.

Auch die elektrische Heizung kann sich noch gewaltig umgestalten, z. B. sobald eine genügend billige Wärmepumpe ausgebildet sein wird, die durch mechanische Kraft getrieben, Wärme von niedrigerem Temperaturniveau auf höheres Temperaturniveau bringen kann. Schon mit den heutigen Eismaschinen (Erwärmung des Kühlwassers) liesse sich eine elektrische Heizung betreiben, die pro 1 kWh viel mehr als 860 Cal zu leisten imstande wäre, auf Kosten der Wärmemengen, die z. B. das Wasser eines Sees bei 4° C enthält.

Das Äquivalent zwischen Kohlen und elektrischer Wärme wird somit nicht nur von den sehr verschiedenen Verhältnissen von Fall zu Fall abhängig sein, sondern auch von der weiteren Entwicklung, die sowohl beim Kohlenbetrieb als auch beim elektrischen Betrieb zu erhoffen ist.

Ich schliesse meine Ausführungen, indem ich noch auf einen wichtigen Punkt hinweise.

Die Feststellung des Betriebskostenäquivalentes ist meistens von grosser Bedeutung für die Strompreisfrage. Kleine Differenzen im Resultat können, da sie unter Umständen mit gewaltigen kWh-Zahlen multipliziert werden, grosse Beträge bei der Abrechnung ausmachen. Es ist deshalb begreiflich, wenn es vorkommt, dass Meinungsdivergenzen über die Messergebnisse entstehen. Es sind mir Fälle bekannt, wo die teuren Messungen mehrmals wiederholt wurden und sich stets neue Differenzen ergaben.

Da ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass die unvermeidliche Fehlergrenze bei solchen Betriebsmessungen ziemlich gross ist und wohl nicht unter $\pm 5\%$ liegen wird. Es empfiehlt sich also, in wichtigen Fällen die Messungen zweimal auszuführen und das arithmetische Mittel der Messungen anzuerkennen, falls der Unterschied der beiden Messungen nicht mehr als $\pm 5\%$ von diesem Mittel entfernt ist. Es dürfte zweckmässig sein, diese Bestimmung von vorneherein in den betreffenden Verträgen aufzunehmen.